مکان‌یابی فرودگاه استان سمنان با استفاده از روشهای تاپسیس و مکان‌یابی مرکز

جعفر فتحعلی*، استادیار، دانشکده ریاضی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

فرشته السادات میرجلالی، کارشناس ارشد، دانشکده ریاضی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

E-mail: fathali@shahroodut.ac.ir

دریافت:۱۳۸۷/۱۲/۱۹- پذیرش:۱۳۸۸/۰۹/۰۸

چکیده

مکانیابی صحیح فرودگاهها یکی از مهم‌ترین عوامل در سرویس دهی بهینه آنهاست. فرض کنید شبکه $G=(V,E)$ که راسها و یالهای آن دارای وزن هستند داده شده باشد. در مساله مکانیابی مرکز، هدف پیدا کردن نقطه ای بر روی شبکه است به گونه ای که فاصله وزنی این راس تا دورترین نقطه روی شبکه کمینه شود. در این مقاله ابتدا مروری بر مساله مکان-یابی مرکز و روش تاپسیس داشته، سپس با ترکیب مدل مکان‌یابی مرکز و روش تاپسیس با در نظر گرفتن مراکز شهرستان‌های استان سمنان به همراه شهر بیارجمند به عنوان رئوس درخت استان، به مکان‌یابی فرودگاه استان سمنان پرداخته می شود.. در این مقاله نشان داده می‌شود که با توجه به شاخصهای در نظر گرفته شده بهترین محل برای احداث فرودگاه استان سمنان، در ۱۶ کیلومتری غرب شهر دامغان است.

واژه‌های کلیدی: مکانیابی مرکز، روش تاپسیس، مکانیابی فرودگاه.

۱. مقدمه

امروزه روش‌های بهینه‌سازی، از پرکاربردترین روش‌های مدیریت تخصیص منابع است که در این عرصه، رفته‌رفته علم مکان‌یابی، جایگاه خود را مستحکم‌تر و مستدل‌تر می‌کند. به طورکلی می‌توان گفت: هنگامی که در نظر باشد یک سری تجهیزات و تسهیلات در یک منطقه به گونه‌ای مستقر شوند که استفاده بهینه از حداقل امکانات عملی شود، از علم مکان‌یابی برای رسیدن به اهداف بهره گیری می شود.

در قرن هفدهم، فرما مسئله مکان‌یابی را به صورت زیر مطرح کرد : فرض کنید ۳ نقطه در صفحه داده شده است، نقطه چهارم را به گونه‌ای بیابید که مجموع فاصله‌های آن تا سه نقطه داده شده، کمینه شود. توریچلی در سال ۱٦٤۰ این مسئله را حل کرده، و از این رو نام این نقطه را، نقطه توریچلی گذاشتند. در سال ۱۹۰۹ اولین نظریه مکانیابی مدرن با مقاله وبر [1] شکل گرفت. در سال ۱۹٦٤ حکیمی [۲] تابع هدف را به دو صورت کمترین مجموع و مینیماکس طبقه‌بندی کرده و به مساله مکانیابی روی شبکه پرداخت. از آن زمان به بعد نظریه مکانیابی شکل گرفت و توجه افراد زیادی را به خود جلب کرد، به گونه ای که امروزه یکی از شاخه های مهم تحقیق در عملیات به شمار می رود. برای اطلاعات بیشتر در مورد مسائل مکانیابی به مراجع [۳]، [٤]، [۵]، [٦] و [۷] رجوع شود.

مسئله مرکز یکی از مسائل اصلی در نظریه مکانیابی است. در مسئله مرکز محل استقرار تسهیلات به گونه ای مکانیابی می شود که بیشترین فاصله گره‌های تقاضا تا آن نقطه کمینه شود. کریو و حکیمی [۸] الگوریتم هایی با پیچیدگیهای زمانی $O(mnLogn)$ و $O(mn)$ به ترتیب برای حل مساله مرکز در شبکه های وزندار و بدون وزن معرفی کرده اند. که در آن m و n به ترتیب تعداد رأسها و تعداد کمانهای شبکه هستند. در این مقاله، ابتدا مروری بر الگوریتم ارایه شده توسط کریو و

*نویسنده مسئول

حکیمی [۸] برای مساله مرکز داشته سپس به روش تاپسیس پرداخته و به وسیله این روش، وزن رئوس مختلف در شبکه راههای مربوط به استان سمنان تعیین می شود. نهایتا با استفاده از وزنهای به دست آمده مرکز شبکه را با استفاده از الگوریتم کریو و حکیمی [۸] پیدا می کنیم که جواب به دست آمده مکان بهینه تاسیس فرودگاه را مشخص می کند. نتایج به دست آمده نشان می دهند، مکان فرودگاه بهتر است در ۱۶کیلومتری غرب شهر دامغان باشد.

۲. مکان‌یابی مرکز[۱] روی شبکه

فرض کنید n نقطه‌ی p_1، p_2، ... p_n رئوس شبکه $G(V,E)$ باشند که به ترتیب دارای وزنهای $w_n,...,w_1$ هستند. می‌خواهیم نقطه‌ای مانند $x \in G$ را به گونه‌ای بیابیم تا فاصله وزنی x تا دورترین نقطه‌ی موجود روی G کمینه شود یعنی به صورت زیر:

$$\min_{x\in G} F(x) = \max_{i=1,...,n} w_i d(x, p_i) \qquad (۱-۲)$$

اگر بخواهیم مرکز یک شبکه کلی را پیدا کنیم ابتدا می‌بایست مرکز نسبی شبکه را روی تک تک یال‌ها به دست آورده و بین مرکزهای نسبی بهترین جواب را انتخاب کنیم [8].

۲-۱ مرکز نسبی[۲]

مرکز نسبی شبکه G روی یال $e \in E$، نقطه ای مانند $x^*(e)$ روی یال e است به گونه‌ای که :

$$F(x^*(e)) = \min_{x(e)\ on\ e} \{F(x(e))\}.$$

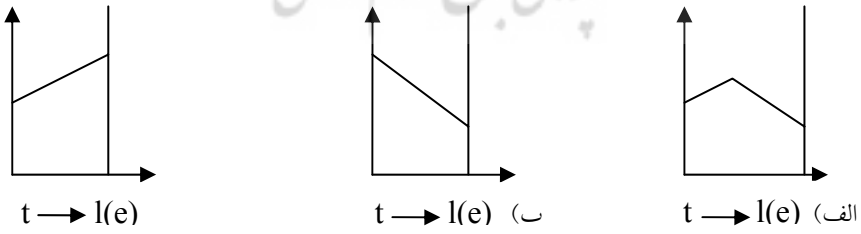
$F(x^*(e))$، شعاع نسبی[۳] G روی یال e نامیده می‌شود و با $r(e)$ نمایش داده می‌شود. با توجه به تعریف ۲-۱ واضح است که اگر:

$E = \{e_1,...,e_m\}$ که $r_1 = r(e_j) = \min_{e_i \in E}\{r(e_i)\}$ باشد، آنگاه r_1، شعاع G و نقطه‌ی متناظرش $x^*(e_j)$، مرکز شبکه G است. پس برای یافتن مرکز شبکه‌ی G کافی است، مرکز نسبی شبکه را روی هر کدام از یال‌ها بیابیم. برای پیدا کردن مرکز نسبی شبکه G روی یال $e = (v_r, v_s)$، ابتدا فاصله وزین هر رأس $v \in V$ را تا یک نقطه دلخواه $x(e)$ روی یال e به دست می‌آوریم، به این ترتیب که اگر $t = t(x(e))$ نشان دهنده فاصله‌ی $x(e)$ از v_r در امتداد یال e باشد آنگاه فاصله وزین نقطه‌ی دلخواه $x(e)$ از رأس v به صورت زیر، خواهد آمد. (۲-۲)

$$D_e(v,t) = w(v).\min\{t + d(v_r, v), (l(e) - t + d(v_S, v))\}$$

که در آن l(e) طول یال e است. کردار $D_e(v,t)$، $0 \le t \le l(e)$، در شکل شماره ۲-۱ نشان داده شده است. هرکردار شامل یک یا دو قطعه خط راست است که شیب این خطها $\pm w(v)$ است. اگر کردار شامل دو قطعه خط شد، نقطه‌ی شکست، جایی که دو قطعه خط یکدیگر را قطع می‌کنند، همان نقطه‌ای است که $D_e(v,.)$، به بیشینه مقدار خود می‌رسد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۱- کردار $D_e(v,t)$: الف) بیشینه $D_e(v,t)$ در روی یال e است. ب) بیشینه $D_e(v,t)$ در راس انتهایی یال e است. ج) بیشینه $D_e(v,t)$ در راس ابتدایی یال e است.

اکنون تعریف می‌کنیم:

$$D_e(t) = \max_{v \in V} \{D_e(v,t)\} \qquad (۳-۲)$$

واضح است نقطه‌ای مثل $x^*(e)$ که در آن $D_e(.)$ به کمینه مقدار خودش برروی یال e برسد، مرکز نسبی روی e خواهد بود و مقدار $D_e(.)$ دراین نقطه شعاع نسبی روی یال e است. علاوه بر این اگر $t^* = t(x^*(e))$، مقدار t در نقطه‌ی $x^*(e)$ باشد، آنگاه t^* مقداری است که دو شرط زیر برایش برقراراست:

(الف) $t^* = 0$ یا $t^* = l(e)$ و یا با فرض اینکه v_i و v_j دو رأس دلخواه باشند، نقطه‌ای است که دو تابع $D_e(v_i,.)$ و $D_e(v_j,.)$ که در t^* دارای شیب با علامت مخالف هستند، همدیگر را قطع کنند.

(ب) اگر T^* مجموعه همه نقاطی باشد که در شرط (الف) صدق می‌کنند آنگاه: $D_e(t^*) = \min_{t' \in T^*} \{D_e(t')\}$

با توجه به آن که کردارهای $D_e(v,t)$ خطی هستند، بنابراین $D_e(t)$ نیز به صورت قطعه‌های خطی است که هر خط از یک $D_e(v_i,t)$ گرفته می‌شود، تا زمانی که $D_e(v_i,t)$ جای خودش را با یک $D_e(v_j,t)$ بعد از اینکه مقدارش با آن یکی شد، عوض کند. بنابراین تلاقی $D_e(v_i,t)$ و $D_e(v_j,t)$ می‌تواند برای کمینه ن $D_e(t)$ کاندید شود. از طرفی واضح است که $t = l(e), t = 0$ هم می‌توانند کاندید باشند.

در یک شبکه با n رأس، بر اساس شرط(الف)، حداکثر $\frac{n(n-l)}{2} + 2$ نقطه کاندید مرکز نسبی می‌شوند. پس با فرض اینکه ماتریس فاصله موجود باشد برای محاسبه- $D_e(.)$، $O(n)$ تکرار در هر کدام از $O(n^2)$ نقاط کاندید، لازم است، که نهایتا با اعمال شرط (ب) در $O(n^3)$ تکرار به جواب می‌رسیم.

کریو و حکیمی [8] الگوریتمی با پیچیدگی زمانی $o(nLogn)$ برای یافتن مرکز نسبی معرفی کرده اند، که اگر این الگوریتم بکار گرفته شود مرکز شبکه وزین را در زمان $O(mnLogn)$ می توان پیدا کرد.

۲-۲ روش مرکز ثقل[٤] برای یافتن مرکز روی درخت وزین

فرض کنیم T یک درخت رأسی وزین باشد و v هم رأسی از درخت با درجه d_v باشد. $T - v$ گراف حاصل از حذف v و d_v یال برخورد کننده با آن از درخت T باشد. آنگاه $T - v$ شامل d_v زیر درخت همبند خواهد شد که آنها را با $T_{v,1}, T_{v,2}, ... T_{v,d_v}$ نمایش می‌دهیم. ضمناً $T^+_{v,i}$ همان زیر درخت $T_{v,i}$ است که شامل رأس v و یال متصل کننده‌اش به $T_{v,i}$ است.

لم ۲-۱: $v \in V$ را یک رأس ثابت در نظر بگیرید و $\tilde{v}$ را رأسی بگیرید که $w(\tilde{v}).d(\tilde{v},v) = \max_{v' \in V} \{w(v').d(v',v)\}$ و نیز $T_{v,l}$ هم زیر درخت $T - v$ باشدکه شامل $\tilde{v}$ است. مرکز درخت T بر $T^+_{v,l}$ واقع است.

اثبات: به مرجع [8] مراجعه کنید.

یک الگوریتم برای پیدا کردن مرکز درخت توسط کریو و حکیمی [8] پیشنهاد شده است که به صورت زیر است.

۲-۲-۱ الگوریتم

۱. T_0 را همان درخت ابتدایی T بگیرید.

۲. رأس v_0 از T_0 را انتخاب و زیر درخت $T^+_{v_0,l_0}$ که در آن مرکز واقع شده است را طبق لم۲ - ۱ بیابید.

۳. فرض کنید $T_1 = T_0 \cap T^+_{v_0,l_0}$. مجدداً رأس v_1 از T_1 را انتخاب و زیر درخت $T^+_{v_1,l_1}$ که شامل مرکز درخت T است را بیابید. مسلماً مرکز می‌بایست بر زیر درخت $T_2 = T_1 \cap T^+_{v_1,l_1}$ واقع شود. آنقدر این روند را تکرار کنید که به زیر درخت T_k برسیم که فقط شامل یک یال است.

٤. مرکز نسبی روی این یال همان مرکز مطلق درخت و یک یا هر دو رأس ابتدایی و انتهایی یال هم همان، مرکز رأسی درخت T خواهد بود.

برای اینکه در تکرارکمتری به جواب برسیم، در هر مرحله مرکز ثقل درخت را به عنوان رأس انتخابی در نظر می‌گیریم. تعریف مرکز ثقل و الگوریتمی برای محاسبه آن در ادامه آمده است.

۲-۲-۲ مرکز ثقل درخت

فرض کنید v یک رأس از درخت T و $T_{v,1}, T_{v,2}, ..., T_{v,d_v}$ هم زیر درخت‌های همبند حاصل از حذف v از درخت T باشد. اگر تعداد رئوس درخت T را با $|T|$ نمایش دهیم و $N(v)$ را به صورت زیر تعریف کنیم.

$$N(v)=\max_{1\le i\le d_v}\{|T_{v,i}|\}$$

مرکز ثقل یک درخت رأسی مانند v_C خواهد بود که $N(v)$ کمترین مقدار خودش را بگیرد، یعنی:

$$N(v_c)=\min_{v\in V}\{N(v)\}$$

از آنجایی که $N(v_c)\le[n/2]$ یعنی تعداد رئوس در هر کدام از زیر درختهای از زیر درختهای $T^+v_C,1,T^+v_C,2,\ldots,T^+v_C,d_{v_C}$ از $[n/2]+1$ نمی تواند بزرگ تر باشد، پس در الگوریتم قبل اگر در هر مرحله مرکز ثقل زیر درخت T_i انتخاب شود و در نتیجه $|T_{i+1}|\le\lceil|T_i|/2\rceil+1$، تعداد تکرارها بیشینه $O(\log n)$ خواهد بود. بنابراین با نسخه‌ای از الگوریتم گلدمن [3]، بر اساس این خاصیت که $N(v_c)\le[n/2]$ شرط لازم و کافی برای مرکز ثقل بودن رأس v_c است ادامه می‌دهیم. گلدمن به هر کدام از رئوس درخت T، متغیر $n(v)$ را نسبت داده که اگر v یک برگ از درخت T' باشد $T'-v$ در یکی از زیر درخت‌های همبند $T-v$ واقع می‌شود که $n(v)$ تعداد رئوس این زیردرخت را می‌دهد. همچنین از کپی درخت اصلی T، تحت عنوان درخت کمکی T' استفاده کرده است.

۲-۲-۳ الگوریتم مرکز ثقل درخت

۱- در ابتدا $T'\leftarrow T$ و برای هر رأس $v\in T'$ قرار دهید، $n(v)\leftarrow n-1$

۲- اگر درخت کمکی فقط شامل یک رأس مثل v_0 باشد دست نگه دارید، v_0 همان مرکز ثقل درخت T است.

۳- اما اگر v یک برگ از درخت T' باشد و $n(v)\le\left[\frac{n}{2}\right]$ دست نگه دارید، v همان مرکز ثقل درخت T خواهد بود. در غیر این صورت برای رأس مجاور u در درخت T' قرار دهید: $n(u)\leftarrow n(u)-(n-n(v))$ رأس v را حذف و یال (u,v) را نیز از T' برداشته و $T'\leftarrow T'-\{v\}$ و مجدداً به ۲ بروید.

با استفاده از الگوریتم بالا می توانیم الگوریتم مرکز درخت را به صورت زیر بنویسیم. در این الگوریتم متغیرهای T' و T'' و T''' در هر مرحله بترتیب نمایش دهنده T_i و $T_{v_i}^+,L_i$ و T_{v_i},L_i هستند.

۲-۲-٤ الگوریتم مرکز درخت (روش مرکز ثقل)

۱- $T'\leftarrow T$

۲- اگر T' شامل تک یال مثل e است مرکز نسبی x^* درخت T روی یال e را یافته و متوقف می شویم. x^* ۱- مرکز T خواهد بود. توقف کنید.

۳- با استفاده از الگوریتم ۲-۲-۳ مرکز ثقل T را بیایید.

٤- فرض کنیم $\tilde{v}$ رأس از T باشد که

$$w(\tilde{v}).d(\tilde{v},v_c)=\max_{v'\in V}\{w(v')d(v',v_c)\}$$

آنگاه T''' را مولفه ای از $T-v_C$ بگیرید که شامل $\tilde{v}$ باشد و T'' را زیر درختی بگیرید که شامل T''' و رأس v_C و یال متصل کننده v_C به T''' باشد.

۵- اگر رأسی مثل $\bar{v}$ پیدا شد که $\bar{v}\in T''$ و $w.(\bar{v}).d(\bar{v},v_c)=w(\tilde{v}).d(\tilde{v},v_c)$ با توجه به نتیجه۲-۳، ۱-، v_c مرکز T خواهد بود.توقف کنید.

٦- $T'\leftarrow T'\cap T''$ و به ۲ بر گردید.

۳. اجرای روش تاپسیس[5] و مکان‌یابی مرکز جهت تعیین محل احداث فرودگاه

استان سمنان بر اساس آخرین تقسیمات کشوری با داشتن ۵ شهرستان (دامغان، سمنان، شاهرود، گرمسار و مهدیشهر)،۱۳بخش، ۱۷ شهر و ۲۹دهستان، دارای مساحتی معادل ۹۷٤۹۱ کیلومترمربع است که بین۵۱ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۵۷ درجه و ۳ دقیقه طول‌شرقی و۳٤ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۲۰ دقیقه عرض‌شمالی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته‌است. این استان از جانب شمال به استان‌های خراسان شمالی، گلستان و مازندران، از جنوب به استان‌های یزد و اصفهان، از مشرق به استان خراسان رضوی و از مغرب به استان‌های تهران و قم محدود است و مرکز آن شهر سمنان است. براساس نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن، جمعیت استان در سال ۱۳۸۵برابر ۵۸۹۷٤۲ نفر بوده که از این تعداد ٤٤۰۵۵۹ نفر درمناطق شهری و ۱٤۹۱۸۳ نفر در مناطق روستایی ساکن بوده‌اند و تراکم نسبی جمعیت در همین سال ٦/۰۵ نفر در هر کیلومترمربع است [9].استان سمنان از لحاظ وسعت، ششمین استان کشور است، این استان در مسیر ترانزیت کالا از غرب به شرق کشور قرار گرفته است. استان سمنان در چند سال اخیررشد

قابل توجهی در زمینه مبادلات کالاهای صنعتی و همچنین خدمات علمی و فنی داشته است. یکی از مشکلات موجود در این عرصه عدم وجود فرودگاه فعال در این استان است، با توجه به گسترش علمی و صنعتی این استان، احداث فرودگاه امری ضروری است. تعیین دقیق محل احداث فرودگاه با توجه به شاخص‌های معتبر و موثر و همچنین روش‌های علمی می تواند در رشد و توسعه استان تأثیر بگذارد و بالعکس تعیین غیر علمی محل فرودگاه علاوه بر به هدر دادن بودجه‌ای کلان، رشد و توسعه‌ای را نیز برای استان به ارمغان نخواهد آورد. در این تحقیق با تلفیق روش مکان‌یابی و تاپسیس محل بهینه برای احداث فرودگاه در استان سمنان مشخص می شود. در اینجا باید متذکر شد که در مرجع [10] مکان یابی فرودگاه به روش جایگشت انجام شده است که هم روش و هم شاخص های در نظر گرفته شده با آنچه ما در این مقاله انجام داده ایم متفاوت است.

٤. روش تحقیق

در این تحقیق ۵ شهر که به عنوان مراکز ۵ شهرستان استان سمنان هستند به همراه شهر بیارجمند به عنوان ٦ رأس درختی انتخاب می‌شوند که یال‌های آن جاده‌های اصلی بین این شهرها هستند. با استفاده از شاخص‌هایی که توسط کارشناسان مربوطه ارایه شده است می‌توان توسط روش آنتروپی شاخص‌های موثرتر را اولویت داد و برای وزن‌دهی به رئوس از روش تاپسیس استفاده کرد،پس از وزن دهی به رئوس، با استفاده از روش‌های مکان‌یابی مرکز بهترین نقطه برای احداث فرودگاه انتخاب می شود.

٤-١ انتخاب شاخص‌ها و تعیین ایده‌آل‌ها

شاخص عبارت است از ویژگی‌ها یا پارامترهای عملکردی که برای انتخاب راهبردهای تصمیم‌گیری مطرح است. شاخص‌ها ممکن است کمی یا کیفی باشند و شاخص‌های کیفی ممکن است دارای مطلوبیت مثبت یا مطلوبیت منفی بوده و با عباراتی مانند خیلی‌کم، کم، متوسط، زیاد، خیلی زیاد بیان شوند، ولی شاخص‌های کمی با مقدار و با واحد مربوطه بیان می شوند[11]. به منظور یکسان‌سازی مقیاس[٦] (بی‌مقیاس‌کردن) شاخص‌ها از روش بی‌مقیاس کردن خطی استفاده می شود. در این روش هر عنصر(r_{ij}) از ماتریس تصمیم‌گیری بر نرم موجود از ستون j ام (به ازای شاخص X_i) تقسیم می‌شود، یعنی :

$$n_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} r_{ij}^{\,2}}} \qquad (١-٤)$$

شاخصهایی که در این مقاله در نظر گرفته شده اند در جدول ۱ آمده اند. در این جدول تاثیر هر شاخص به صورت زیر درنظر گرفته شده است.

ایده‌آل مثبت (+): هرچه مقدار شاخص افزایش یابد، میزان مطلوبیت شهر جهت احداث فرودگاه افزایش خواهد یافت.

ایده‌آل منفی (-): هرچه مقدار شاخص افزایش یابد، میزان مطلوبیت شهر جهت احداث فرودگاه کاهش خواهد یافت.

جدول ۲ مقدار شاخصهای مختلف برای شهرهای استان سمنان را نشان می دهد.

جدول ۱. شاخص های منتخب توسط کارشناسان

شاخص	عنوان شاخص	مقیاس	نوع شاخص	وزن کارشناسی (λ_j)
X_1	جمعیت	نفر	مثبت	۰/۱۸
X_2	تعداد روزهای یخبندان در سال	روز	منفی	۰/۰۸
X_3	تعداد مرکز هواشناسی سینوپتیک	عدد	مثبت	۰/۰۵
X_4	فاصله از نزدیک‌ترین فرودگاه	کیلومتر	مثبت	۰/۳۳
X_5	کیفیت راههای ارتباطی	دو قطبی*	مثبت	۰/۰۵
X_6	جمعیت شاغلان غیر بومی غیر ساکن	نفر	مثبت	۰/۰۸
X_7	متوسط بارندگی طی یک ماه	میلیمتر	منفی	۰/۰٦
X_8	متوسط درآمد خانوار در سال	ریال	مثبت	۰/۰۸
X_9	متوسط تعداد جهانگردان و زائران به خارج از کشور در سال	نفر	مثبت	۰/۰۷
X_{10}	میانگین سرعت وزش باد	متر در ثانیه	منفی	۰/۰۲

* **مقیاس دو قطبی عبارت است از تخصیص عددی بین ۰ تا ۱۰ که عدد بیشتر نشانه مطلوبیت بیشتر است.**

جدول ۲. ماتریس داده ها

شاخص/شهر	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
بیارجمند	۲۵۰٤	۸۲	۱	۵۱۸	٤	۸۹	۱۳.۸	۱٤٤٤٢٤۰	۱۲۹	۱۲.۵
دامغان	۵۹۳۰۰	٦۳	۱	۳۲۰	۷	۲۵۱٤	۹.۱	۲۰٦۹۷۳٤۲	۱۸۲٦	۲۱.۳
سمنان	۱۲٦۷۸۰	۵۵	۱	۲۱٦	۸	۷۲۸٤	۱٤.۷	۲۵۳۹۸۷۳۲	۳۵٤۱	۱۳.۸
شاهرود	۱۳۲۳۷۹	٦۵	۱	٤۰۰	۷	٦۵۲۳	۱٤	۲٤۳٦۹۷۸۵	۵٤۹۷	۱٤.٦
گرمسار	۳۹۵۲۳	٤۵	۱	۱۰۰	۷	۳۰۲۱	۱۱.۲	۱۸۳۹۸۵٤۱	۱۱۳۰	۱٦.۸
مهدیشهر	۲۱۰۰٦	۷٦	۰	۲۳۳	٦	۱٦٤	۱۵.۲	۱٦۹۸۲۵۹۸	۵٦۳	۱۳.۵
جمع	۳۸۱٤۹۲	۳۸٦	۵	۱۷۸۷	۳۹	۱۹۵۹۵	۷۸	۱۲۰۲۹۱۲۳۸	۱۲٦۸٦	۹۲.۵

٤-۲ تعیین وزن شاخص‌ها به روش آنتروپی

حال با توجه به داده های به دست آمده، می توان با استفاده از روش آنتروپی وزن شاخص‌ها را تعیین کرد. آنتروپی یک مفهوم عمده در علوم فیزیکی، علوم اجتماعی و تئوری اطلاعات است، به طوری که نشان‌دهنده میزان عدم اطمینان موجود از محتوای مورد انتظار اطلاعاتی از یک پیام است. به بیان دیگر آنتروپی در تئوری اطلاعات، معیاری است برای میزان عدم اطمینان بیان‌شده توسط یک توزیع احتمال گسسته که این عدم اطمینان به صورت زیر تشریح می‌شود:

ابتدا ارزشی با نماد E محاسبه می‌شود:

$$E = -K\sum_{i=1}^{n}\left[p_i \times Lnp_i\right]$$

که K یک عدد ثابت مثبت است وبه گونه‌ای تعیین می‌شود که داشته باشیم:

$0 \le E \le 1$. E از توزیع احتمال p_i بر اساس مکانیزم آماری محاسبه می شود.

ماتریس تصمیم‌گیری از مدل‌های چند شاخصه حاوی اطلاعاتی است که آنتروپی می‌تواند به عنوان معیاری برای ارزیابی آن بکار رود. محتوای اطلاعاتی موجود از این ماتریس ابتدا به صورت P_{ij} در ذیل محاسبه می شود P_{ij} در زیر محاسبه می‌شود؛

$$P_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} r_{ij}} \qquad \forall i, j$$

و برای E_j ها به ازای هر مشخصه خواهیم داشت:

$$\forall j \quad ; \; E_j = -k\sum_{i=1}^{m}\left[P_{ij} \times LnP_{ij}\right]$$

به طوری که $K = \frac{1}{Ln(m)}$ است .

اینک عدم اطمینان یا درجه انحراف (d_j) از اطلاعات ایجادشده به ازای شاخص j ام به این قرار است:

$$d_j = 1 - E_j \; ; \quad \forall j$$

و سرانجام برای اوزان (w_j) از شاخص‌های موجود خواهیم داشت :

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^{n} d_j} \qquad ; \forall j$$

چنان که تصمیم‌گیرنده[۷] از قبل دارای یک قضاوت ذهنی (λ_j) به عنوان اهمیت نسبی برای شاخص j ام باشد، آنگاه می توان w_j محاسبه شده از طریق آنتروپی را به صورت زیر تعدیل کرد

$$W_j' = \frac{\lambda_j . w_j}{\sum_{j=1}^{n} \lambda_j . w_j} \; ; \; \forall j$$

یکی از روش‌هایی که برای تحلیل اطلاعات موجود مدل های چند شاخصه مورد استفاده قرار می‌گیرد، روش تاپسیس است.

در این روش علاوه بر در نظر گرفتن فاصله یک گزینه A_i از نقطه ایده‌آل مثبت، فاصله آن از نقطه‌ی ایده‌آل منفی هم در نظر گرفته می‌شود. به این معنی که گزینه انتخابی دارای کمترین

فاصله از نقطه ایده‌آل مثبت بوده و در عین حال دارای دورترین فاصله از نقطه ایده‌آل منفی باشد.

٤-٣ الگوریتم تاپسیس

گام اول- تبدیل ماتریس تصمیم گیری موجود به یک ماتریس « بی مقیاس شده » با استفاده از فرمول (٤-١):

گام دوم- ایجاد ماتریس « بی مقیاس وزین» که با روش آنتروپی جهت وزن دهی به شاخص‌ها به دست آمده است. یعنی

$W' = \{w'_1, w'_2, ..., w'_n\}$

$V = N_D . W'_{n\times n}$ = ماتریس بی‌مقیاس‌وزین

به طوری که $\lfloor n_{ij} \rfloor N_D$ = ماتریسی است که شاخص‌ها در آن « بی‌مقیاس » و قابل مقایسه‌شده‌اند و $W'_{n\times n}$ ماتریسی است قطری که فقط عناصر قطر اصلی آن غیرصفر بوده و عناصر روی قطر اصلی همان $\{w'_1, w'_2, ..., w'_n\}$ خواهند بود.

گام سوم- به صورت زیر مجموعه نقاط ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی مشخص می شوند:

مجموعه نقاط ایده‌آل مثبت

$$= A^+ = \{(\max_{1\le i\le m} V_{ij} \,|\, j \in J)\} \cup \{(\min_{1\le i\le m} V_{ij} \,|\, j \in J')\}$$
$$= \{V_1^+, V_2^+, ..., V_j^+, ..., V_n^+\}$$

مجموعه نقاط ایده‌آل منفی

$$= A^- = \{(\min_{1\le i\le m} V_{ij} \,|\, j \in J)\} \cup \{(\max_{1\le i\le m} V_{ij} \,|\, j \in J')\}$$
$$= \{V_1^-, V_2^-, ..., V_j^-, ..., V_n^-\}$$

به طوری که :

$\{j$ های مربوط به شاخص‌های با جنبه مثبت مثل جمعیت $J = \{j = 1,2,3,...,n|$

$\{j$ های مربوط به شاخص‌های با جنبه منفی مثل سرعت وزش باد $J' = \{j = 1,2,3,...,n|$

لازم به توضیح است که با توجه به شاخص‌های مورد بررسی در این تحقیق، مجموعه نقاط ایده‌آل مثبت مشخص می‌شود.

گام چهارم (محاسبه اندازه جدائی یا فاصله) - فاصله گزینه i ام با ایده‌آل‌ها با استفاده از روش اقلیدسی به قرار زیر است.

فاصله گزینه i ام از ایده‌آل مثبت d_{i+}

$$= \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(V_{ij} - V_j^+\right)^2} \quad ; i = 1,2,...,m$$

فاصله گزینه i ام از ایده‌آل منفی d_{i-}

$$= \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(V_{ij} - V_j^-\right)^2} \quad ; i = 1,2,...,m$$

گام پنجم (محاسبه نزدیکی نسبی گزینه A_i به نقطه‌ی ایده‌آل مثبت)

این نزدیکی نسبی به صورت زیر تعریف می شود:

$$cL_i = \frac{d_{i-}}{(d_{i+} + d_{i-})} \quad ; \quad 0 \le cL_i \le 1 \; ;$$
$$i = 1,2,...,m$$

اگر A^+ ایده‌آل مثبت و A^- ایده‌آل منفی باشد، ملاحظه می‌شود که چنان که $A_i = A^+$ شود، آنگاه $d_{i+} = 0$ بوده و خواهیم داشت: $cL_i = 1$ و درصورتی‌که $A_i = A^-$ شود، آنگاه $d_{i-} = 0$ بوده و $cL_i = 0$ خواهد شد. بنابراین هر اندازه گزینه A_i به ایده‌آل مثبت (A^+) نزدیک‌تر باشد، ارزش cL_i به واحد نزدیک‌تر خواهد بود.

گام ششم (رتبه‌بندی گزینه‌ها)-

بر اساس ترتیب نزولی cL_i می توان گزینه‌های موجود از مسئله مفروض را رتبه‌بندی کرد.

نتایج حاصل از کاربرد این روش برای مساله مورد نظر ما در جدول ۳ آمده است. دلیل استفاده از این روش این است که هیچیک از شاخص‌ها را حذف نمی‌کند و برای هر یک از شاخص‌ها براساس میزان پراکندگی وزن داده می‌شود.

ضمنا می‌توان از وزن‌های کارشناسی (قضاوت ذهنی λ_j) نیز به عنوان اهمیت نسبی برای شاخص استفاده و وزن محاسبه شده به این روش را تعدیل کرد. در این تحقیق از نظرات کارشناسان گروه‌های مختلف از جمله گروه‌های اقتصادی، آمایش سرزمین، متخصصین امور فرودگاه‌ها و همچنین کارشناسان گروه نقشه و GIS استفاده شده است. ماتریس داده‌های شاخص‌های انتخابی که در جدول ۲ آمده است، بر اساس اطلاعات سالنامه آماری سال ١٣٨٦ [9] و همچنین سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۸۵ که جدیدترین سرشماری کشور محسوب می شود، ساخته شده است انجام این روش نیاز به نرم‌افزار خاصی ندارد و به طور مثال این مطالعه به وسیله نرم‌افزار EXCEL انجام شده است که از مجموعه نرم‌افزارهای استاندارد OFFICE است که بر روی همه رایانه‌ها وجود دارد.

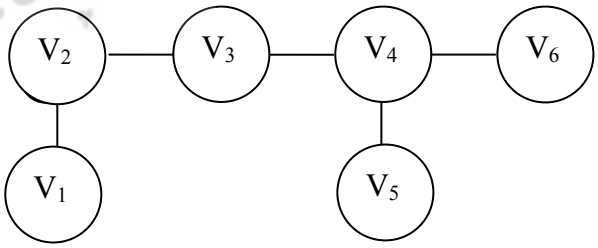
جدول ۳ . وزن شهرها

شهر	$d_{i-}+d_{i^+}$	cl_i	$w_i=cl_i$
بیارجمند	۰/٤۰٥٤۱۰٦٥۷	۰/۲٦۸۱۸٤۳	۰/۲۷
دامغان	۰/۳۱۹۹۹٦۱۲	۰/٤۱٥۰۱٦٦	۰/٤۲
سمنان	۰/۳٦٤۸۸٤٤۷٤	۰/۷٥٤۹٤٦۷	۰/۷٥
شاهرود	۰/۳۳٤۲۷۲۱۱۸	۰/۹۰۰۱۲۲۳	۰/۹۰
گرمسار	۰/۳۲۸٤۱۲٥٤	۰/۲۸۲۸۱۱٦	۰/۲۸
مهدیشهر	۰/۳۲٥٥۱۹۰۲۸	۰/۱٤۸۳۹۰۹	۰/۱٥

٤-٤ مکان‌یابی مرکز درخت رأس وزین استان سمنان

در مکان‌یابی مرکز مطلوب یک شبکه یا درخت مشخص شدن وزن رئوس امری لازم و ضروری است و آنچه که امروز کاربرد عملی مسئله مرکز را با مشکل مواجه کرده است همان نداشتن وزن رئوس شبکه است. که ما در این تحقیق این مشکل را با روش آنتروپی و تاپسیس که از مفاهیم جدید علم مدیریت هستند حل کردیم. همان طور که در قسمت‌های قبلی مشاهده شد با استفاده از روش آنتروپی و تاپسیس وزن‌دهی شهرهای منتخب استان به طریقی کاملا معقول و با در نظر گرفتن اهمیت و تاثیر شاخص‌ها بر هدف مطلوب، صورت گرفت. اکنون با استفاده از الگوریتم بخش ۲و وزن‌هایی که در قسمت قبل برای رئوس به دست آمد محل احداث فرودگاه در استان سمنان ا تعیین خواهد شد. درخت اولیه استان سمنان به صورت شکل ٤-۱ خواهد بود. با فرض این که

V_1= بیارجمند، V_2= شاهرود، V_3= دامغان، V_4= سمنان، V_5= مهدیشهر، V_6= گرمسار.

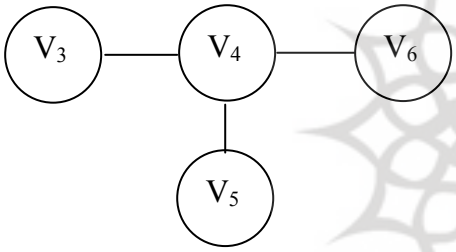


شکل ۱. درخت راههای اصلی و شهرستانهای استان سمنان

با بکار بستن الگوریتم **۲-۲-۳** در تکرار اول مرکز ثقل درخت استان شهرستان دامغان خواهد شد. بیشینه فاصله وزین از شهر دامغان پیدا می شود

$$w(\widetilde{V}).d(\widetilde{V},V_3)=\max_{V'\in V}\{w(V')d(V',V_3)\}=$$
$$\max\{5940,4968,8700,2025,6552\}=w(V_4)d(V_4,V_3)$$

که شهر سمنان است. اکنون دامغان را از درخت اولیه حذف کرده زیر درخت حاصل از حذف که شامل سمنان است شامل جواب هم خواهد بود. درخت جدید به صورت شکل ٤-۲ می‌گیرد



شکل ۲. درخت راههای اصلی و شهرستانهای استان سمنان پس از حذف شهرستان دامغان

مرکز ثقل درخت این بار سمنان خواهد بود و بیشینه فاصله وزین از آن در شهر دامغان رخ خواهد داد بنابراین در نهایت به یال (v_3,v_4) می‌رسیم و می‌بایست مرکز نسبی درخت استان روی این یال محاسبه شود.

$e=$(سمنان و دامغان)

$$D_e(V_1,t)=27(184+t)=27t+4968$$
$$D_e(V_2,t)=90(66+t)=90t+5940$$
$$D_e(V_3,t)=42t=42t$$
$$D_e(V_4,t)=(116-t)\times 75=-75t+8700$$
$$D_e(V_5,t)=15(135-t)=-15t+2025$$
$$D_e(V_6,t)=28(234-t)=-28t+6552$$

حال باید محل تلاقی‌ها را بیابیم یعنی :

$$D_e(v_i,t)=D_e(v_j,t)\quad 1\le i<j\le 6$$

داریم:

$$27t+4968=90t+5940 \Rightarrow 63t=-972 \Rightarrow t=-15.4$$
$$27t+4968=42t \Rightarrow 15t=4968 \Rightarrow t=331.2$$
$$27t+4968=-75t+8700 \Rightarrow 102t=3732 \Rightarrow t=36.5$$
$$27t+4968=-15t+2025 \Rightarrow 42t=-2943 \Rightarrow t=-70$$
$$27t+4968=-28t+6552 \Rightarrow 55t=1584 \Rightarrow t=28.8$$
$$90t+5940=42t \Rightarrow 48t=-5940 \Rightarrow t=-123.7$$
$$90t+5940=-75t+8700 \Rightarrow 165t=2760 \Rightarrow t=16.7$$
$$90t+5940=-15t+2025 \Rightarrow 105t=-3915 \Rightarrow t=-37.2$$
$$90t+5940=-28t+6552 \Rightarrow 118t=612 \Rightarrow t=5.1$$
$$-75t+8700=-15t+2025 \Rightarrow 60t=6675 \Rightarrow t=111.25$$
$$-75t+8700=-28t+6552 \Rightarrow 47t=2148 \Rightarrow t=45.7$$
$$-1t+2025=-28t+6552 \Rightarrow 13t=4527 \Rightarrow t=348.2$$
$$42t=-75t+8700 \Rightarrow 117t=8700 \Rightarrow t=74.3$$
$$42t=-15t+2025 \Rightarrow 57t=2025 \Rightarrow t=35.5$$
$$42t=-28t+6552 \Rightarrow 70t=6552 \Rightarrow t=93.6$$

با توجه به اینکه $0 \le t \le 116$ است بنابراین فقط نقاط کاندید زیر بررسی می شوند:

مجموعه نقاط کاندید $k =$

$$=\{365,288,167,51,743,355,936,1112,545,7\}$$

همان طور که داشتیم:

$$D_e(t)=\max\{27t+4968,90t+5940,42t,-75t+8700,-15t+2025,-28t+6552\}$$

$\min_{t\in k} D_e(t) \Rightarrow$ طول نقطه‌ی مرکز درخت را به ما می‌دهد

نتایج نهایی در جدول ٤ آمده است.

بنابراین $t=16.7$ طول مرکز درخت استان است. پس فرودگاه باید در ١٦.٧ کیلومتری شهر دامغان (از سمت غرب) یعنی حوالی شهر امیریه احداث شود. در حالی که اگر فقط به روش تاپسیس اکتفا می‌شد به اشتباه شاهرود به‌عنوان بهترین محل جهت احداث فرودگاه استان سمنان تعیین می‌گردید.

۵. نتیجه گیری

در این تحقیق به مکانیابی محل تاسیس فرودگاه در استان سمنان با توجه به شاخصهای موجود پرداخته شد. که در آن از روش آنتروپی جهت وزن دهی به شاخص‌ها استفاده شد و سپس با استفاده از روش تاپسیس وزن شهرهای مورد مطالعه تعیین شد. در نهایت با استفاده از الگوریتم های مکانیابی، محل فرودگاه به گونه ای تعیین شد که دسترسی به آن از شهری که حاصلضرب وزن آن شهر در فاصله اش تا فرودگاه از بقیه بزرگ تر است، در کمترین زمان ممکن انجام پذیرد. با توجه به نتایج به دست آمده مکان فرودگاه در ١٦/٧ کیلومتری غرب شهر دامغان تعیین شد. در حالی که اگر فقط به روش تاپسیس اکتفا می‌شد یعنی شهر با بیشترین وزن را انتخاب می کردیم، با توجه به جدول ٣ به اشتباه شهر شاهرود با وزن ٠/٩٠ به عنوان بهترین محل برای احداث فرودگاه استان سمنان تعیین می شد.

جدول ٤. نتیجه‌ی نهایی مدل ترکیبی تاپسیس و مرکز

k	27t+4968	90t+5940	42t	_75t+8700	_15t+2025	_28t+6552	max
۵.۱	۵۱۰۵.۷	۶۳۹۹	۲۱۴.۲	۸۳۱۷.۵	۱۹۴۸.۵	۶۴۰۹.۲	۸۳۱۷.۵
16.7	۵۴۱۸.۹	۷۴۴۳	۷۰۱.۴	۷۴۴۷.۵	۱۷۷۴.۵	۶۰۸۴.۴	۷۴۴۷.۵
28.8	۵۷۴۵.۶	۸۵۳۲	۱۲۰۹.۶	۶۵۴۰	۱۵۹۳	۵۷۴۵.۶	۸۵۳۲
35.5	۵۹۲۶.۵	۹۱۳۵	۱۴۹۱	۶۰۳۷.۵	۱۴۹۲.۵	۵۵۵۸	۹۱۳۵
36.5	۵۹۵۳.۵	۹۲۲۵	۱۵۳۳	۵۹۶۲.۵	۱۴۷۷.۵	۵۵۳۰	۹۲۲۵

ادامه جدول ٤. نتیجه نهایی مدل ترکیبی تاپسیس و مرکز

45.7	۶۲۰۱.۹	۱۰۰۵۳	۱۹۱۹.۴	۵۲۷۲.۵	۱۳۳۹.۵	۵۲۷۲.۴	۱۰۰۵۳
74.3	۶۹۷۴.۱	۱۲۶۲۷	۳۱۲۰.۶	۳۱۲۷.۵	۹۱۰.۵	۴۴۷۱.۶	۱۲۶۲۷
93.6	۷۴۹۵.۲	۱۴۳۶۴	۳۹۳۱.۲	۱۶۸۰	۶۲۱	۳۹۳۱.۲	۱۴۳۶۴
111.25	۷۹۷۱.۷۵	۱۵۹۵۲.۵	۴۶۷۲.۵	۳۵۶.۲۵	۳۵۶.۲۵	۳۴۳۷	۱۵۹۵۲.۵
Min							7447.5

٦. پانویس‌ها

1- Center
2- Local center
3- Local radius
4- Centroid
5- Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
6- Dimensionless
7- Decision maker

۷. مراجع

1. Weber, A. (1929) "*Uber den standort-der industrient. Tubingen*", English Trans Theory of Location of Industries, Chicago University Press, Chicago, Illinois.

2. Hakimi, S. (1965) "Optimum location of switching centers in a communications network and some related graph theoretic problems", *Operations Research*, 13, pp: 462-475.

3. Mirchandani, P. B. and Francis, R. L. (1990) "Discrete location theory", Wiley-Interscience.

4. Daskin, M. (1995) "Network and discrete location: Models, algorithms and applications", Wiley-Interscience.

5. Hale, T. S. (2003) "Location Science Research: A Review", Annals of Operations Research, 123, pp: 21–35.

6. Drezner, Z., Hamacher, H.W. (2008) "Facility location: Applications and theory", Springer.

7. Farahani, A. Z. and Hekmatfar, M. (2009) "Facility location: Concepts, models, algorithms and case studies", Physica-Verlag, Heidelberg.

8. Kariv, O., Hakim, S. L. (1979) "An algorithmic approach to network location problems. Part I: The p-center", SIAM *J. Appl. Math*, 37, pp: 513-537.

۹. عبداله زاده، ر. (۱۳۸٦) "*سالنامه آماری استان سمنان*" معاونت برنامه ریزی استانداری سمنان، دفتر آمار و اطلاعات.

۱۰. صفارزاده، م، ژولیده، ه، بروجردیان، الف، (۱۳۸٤) "مدل مکانیابی فرودگاه به روش جایگشت"، پژوهشنامه حمل و نقل، شماره‌سه، پاییز، ص ۱۶۱-۱۷۱.

۱۱. اصغرپور، م. (۱۳۸۵) "*تصمیم‌گیریهای چند معیاره*" چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه تهران، ص. ۲۳۰-۲۵۰.